

## Порівняльний аналіз результатів групового експертного оцінювання метрологічного забезпечення вимірювань

О. М. Величко, Т. Б. Гордієнко, Л. В. Коломієць

*Досліджено наявні методи і засоби для проведення групового експертного оцінювання. Запропоновано удосконалений метод для групового експертного оцінювання. Проведено оцінювання стану метрологічного забезпечення за десятима видами вимірювання з використанням удосконаленого методу. Здійснена перевірка узгодженості отриманих експертних оцінок за допомогою коефіцієнта узгодженості Кендалла і критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона. Запропоновано удосконалений програмно-інструментальний комплекс на основі розробленого методу*

*Ключові слова: метрологічне забезпечення, групове експертне оцінювання, коефіцієнт узгодженості, програмно-інструментальний комплекс*

### 1. Вступ

Для отримання достовірних оцінок шляхом групового експертного оцінювання необхідно перш за все коректно підходити до підбору метода і експертів, яких залучають для дослідження. Узагальнену думку експертів отримують за допомогою застосування методів математичної статистики при обробленні отриманих експертних даних та перевірці на узгодженість. Найпростіші методи експертних оцінок переважно застосовуються як складові більш комплексних методів оцінювання складних систем. Найчастіше в практиці експертного оцінювання використовується анкетування [1].

Отримані експертні дані необхідно перевіряти на узгодженість. У разі отримання неузгоджених даних необхідно проводити аналіз або для відкидання цих даних, або для подальшого узгодження даних шляхом уточнення застосованих критеріїв чи показників.

Для отримання достовірних оцінок групового експертного оцінювання у будь-якій сфері діяльності необхідно здійснити вибір найбільш оптимального метода. Оскільки ці методи базуються на різних алгоритмах реалізації експертного оцінювання, обраний метод потребує удосконалення під конкретні потреби у певній сфері [1]. Саме такі методи були застосовані авторами при проведенні досліджень з питань підвищення ефективності складних систем та оцінювання компетентності експертів в сфері технічного регулювання [1, 2]. Актуальність роботи підтверджується все більшим розповсюдженням експертних методів щодо вирішення завдань, прийняття рішень для складних організаційно-технічних систем. У сучасній науці і техніці ці системи характеризують як кількісні, так і якісні показники. Підвищення їх ефективності переважно є процесом знаходження найкращого рішення за певних умов з наявними обмеженнями і критеріями. Зважаючи на це, актуальним питанням є розроблення удоско-

налених методик з групового експертного оцінювання, врахування в них компетентності задіяних експертів, а також розробка програмних засобів на основі удосконалених методик з метою визначення суттєвості розбіжностей у кількісних оцінках.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Адаптація реформованої системи технічного регулювання в Україні до європейських вимог та залучення до роботи в цій сфері висококваліфікованих фахівців є необхідним завданням сьогодення. Для виявлення проблемних питань у сучасній сфері технічного регулювання доцільно використовувати групове експертне оцінювання із залученням компетентних експертів.

Грунтовний аналіз придатних методів для оцінювання компетентності експертів зі стандартизації та метрологічного забезпечення (МЗ) було предметом попередніх досліджень [1, 2]. Найбільш розповсюджені експертні методи є доволі простими та мають свої недоліки:

- метод ранжування [3] та його модифікації [4–6] – не дає можливості з достатньою точністю ранжувати об'єкти, кількість яких перевищує 15–20;
- метод безпосереднього оцінювання [3] та його модифікації [4, 7] – неможливо використати у випадку неповної інформованості експерта про досліджувані властивості об'єкта;
- метод співставлення, який включає два його різновиди:
- метод послідовного співставлення [6] – найбільш трудомісткий і складний;
- метод попарного порівняння [6] та його модифікації [8–10] – у порівнянні з іншими методами доволі простий, характеризується високим рівнем достовірності результатів оцінки та дозволяє досліджувати велику кількість об'єктів з великою точністю;
- метод оцінювання компетентності експертів на основі апарату теорії нечітких множин [11] – недоліками цього методу є розбіжності між кінцевою множиною компетенцій, що характеризують стани об'єкта, і характеристиками, що пропонує певний експерт. Це звужує сферу застосування цього підходу.

Не менш відомі методи аналізу сценарію:

- аналізу першопричини, сценарію, впливу на діяльність, причинно-наслідкових зв'язків – не передбачають наявності чисельних оцінок [7];
- базовий метод аналітичної ієрархії [12, 13] та його модифікації [6, 8] – застосовні лише у випадку невеликого числа заданих альтернатив та не дають можливість поєднувати різні думки груп експертів.

Для дослідження складних об'єктів або систем доцільно використовувати метод аналітичної ієрархії (Analytic Hierarchy Process, АНР, МАІ). МАІ – це математичний інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень. Цей метод отримав широке розповсюдження завдяки роботам [12, 14], які більш повно розкрили можливості процедури, і з тих пір МАІ активно розвивається і широко використовується на практиці.

Наступним завданням є проведення групового експертного оцінювання МЗ за різними видами вимірювань із залученням до нього експертів з метрології.

Для організації проведення групового експертного оцінювання створюються експертні (робочі) групи, до функції яких входять проведення збору думок, обробка матеріалів і аналіз результатів оцінювання. Перед організацією проведення групового експертного оцінювання уточнюються основні напрямки розвитку об'єкта чи сфери досліджень, а також складають матрицю (таблицю), що відображає генеральну мету, під-мету і засоби досягнення.

Серед всіх відомих форм збору думок можна відзначити індивідуальні, колективні та змішані, кожна з яких має ряд різновидів, свої переваги та недоліки [3–8, 15]:

- анкетування (часто охоплює інтерв'ювання і бесіду) – дозволяє з меншими трудовитратами експертів зібрати їхні думки, за часом більш тривалий;
- інтерв'ювання – надає можливість визначити ступінь відвертості респондента, дозволяє отримати інформацію безпосередньо, швидко, повно. Недоліком методу є більша потреба у часі та засобах, ніж при анкетуванні;
- дискусія – дієвий метод обговорення досліджуваного питання, передбачає колективне обговорення проблеми, під час якого пізнається істина, вимагає всебічної підготовленості кожного учасника. Недоліком методу є обмеження у часі (не може тривати більше 3-х годин);
- мозковий штурм – найбільш ефективно працює в групах, при колективній роботі, простий для розуміння, не вимагає спеціальної підготовки учасників, дозволяє швидко «згенерувати» нові ідеї. Недоліком методу є складність організації роботи групи, не завжди дозволяє згенерувати стратегічно правильні рішення, метод непридатний для вирішення складних завдань, для яких потрібні спеціальні знання щодо об'єкта дослідження або технічна підготовка;
- нарада – відбувається у невеликому колі компетентних і висококваліфікованих фахівців за схемою: доповідь – запитання – дебати – прийняття рішення, дозволяє аналізувати, знаходити шляхи і методи розв'язання проблем. Недоліком методу є обмеження у часі, кількості залучених учасників;
- ділова гра – застосовується як метод активного навчання учасників з метою вироблення у них навичок прийняття рішень в нестандартних ситуаціях, а також як засіб тестування здібностей.

У багатьох випадках кожен з цих різновидів використовується спільно, що дає нерідко більший ефект і об'єктивність. Такий підхід застосовується у випадках деякої неясності проблеми, при розходженнях індивідуальних думок чи при колективному обговоренні проблеми експертами. Однак найчастіше в практиці групового експертного оцінювання використовується анкетування (опитування). В багатьох працях з питань застосування експертних методів [16–18] описано застосування спеціально розроблених програмних засобів (ПЗ). ПЗ дозволяють значно підвищити продуктивність застосовуваних методів групового експертного оцінювання і усунути помилки при розрахунках отриманих результатів.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Проведені дослідження ставили за мету розробити ефективний метод і програмний засіб для проведення групового експертного оцінювання МЗ за різ-

ними видами вимірювань, який дозволяв би, у разі потреби, змінювати застосовувані критерії оцінювання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- обрати та удосконалити найбільш придатний метод групового експертного оцінювання для певних завдань у сфері МЗ;
- здійснити групове експертне оцінювання МЗ за різними видами вимірювань із залученням до нього експертів з метрології та провести порівняльний аналіз отриманих результатів;
- розробити удосконалений програмно-інструментальний комплекс з метою підвищення продуктивності методу групового експертного оцінювання та усунення помилок при розрахунках отриманих результатів.

#### **4. Матеріали та методи дослідження щодо розроблення удосконаленого методу для групового експертного оцінювання**

В практиці експертного оцінювання використовується анкетування (опитування). Для цього розробляють опитувальну анкету. Форма питання може бути розроблена в вигляді таблиць, але зміст повинен визначатися специфікою об'єкта чи сфери, що досліджуються. При цьому питання повинні бути складені за певною структурно-ієрархічною схемою: від загальних питань до конкретних; від складних до простих. При проведенні опитування експертів необхідно забезпечити однозначність розуміння окремих питань, а також незалежність суджень експертів. Далі треба провести обробку отриманих даних групового експертного оцінювання, які характеризують узагальнену думку і ступінь погодженості індивідуальних оцінок експертів. Обробка даних експертів слугує вихідним матеріалом для синтезу прогнозних гіпотез і варіантів розвитку певного об'єкта чи сфери, що досліджується.

Метод групового експертного оцінювання, який підлягає удосконаленню, описано в [1], а один із прикладів його реалізації в [16].

Для реалізації удосконаленого методу розраховують:

- середній бал  $\bar{x}_i$  для кожного з  $N$  питань, що аналізують, з урахуванням коефіцієнта компетентності (КК) кожного з  $M$  експертів, що брали участь у оцінюванні за формулою:

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^M x_j \cdot k_{cj} / M, \quad (i=1, 2, \dots, N); \quad (1)$$

- опорне значення експертного оцінювання  $x_{ref}$  за всіма проблемними питаннями як просте середнє значення за всіма оціненими питаннями (у балах) за формулою:

$$x_{ref} = \sum_{i=1}^N \bar{x}_i / N; \quad (2)$$

– ступінь відхилення оцінених середніх балів  $\bar{x}_i$  від опорного значення  $x_{ref}$  для кожного з визначених питань (у балах) за формулою:

$$D_i = \bar{x}_i - x_{ref}. \quad (3)$$

За отриманими значеннями ступеня відхилення оцінених середніх балів від опорного значення здійснюється ранжування отриманих значень у порядку зменшення  $D_i$ .

У подальшому розраховують показники, які характеризують узгодженість отриманих даних щодо підпитань, що розглядають:

– коефіцієнт узгодженості Кендалла  $W$  з урахуванням зв'язаних рангів, який визначають за такою формулою [1, 16]:

$$W = \frac{12S}{M^2(N^3 - N) - M \sum_{i=1}^M T_i}, \quad (4)$$

де

$$T_i = \sum_{q=1}^Q (t_q^3 - t_q); \quad (5)$$

$S$  – сума квадратів відхилень від середнього;

$T_i$  – загальна кількість однакових рангів для  $i$ -го експерта за всіма підпитаннями, що розглядають;

$t_q$  – кількість для однакового рангу для  $i$ -го експерта за всіма підпитаннями, що розглядають;

$Q$  – кількість груп однакових рангів у  $i$ -го експерта за підпитаннями, що розглядають;

$q$  – однаковий ранг для  $i$ -го експерта за всіма підпитаннями, що розглядають;

– критерій згоди  $\chi^2$  Пірсона з урахуванням зв'язаних рангів, який визначають за формулою:

$$\chi^2 = \frac{S}{MN(N+1) - \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^M T_i}. \quad (6)$$

Аналізують отримане значення коефіцієнта узгодженості Кендалла  $W$  і роблять висновок щодо ступеня узгодженості даних у відповідності до шкали Марголіна [1, 16]. У разі необхідності, здійснюють корегування бальних значень для певних підпитань, що розглядають.

Отримане значення за критерієм згоди  $\chi^2$  Пірсона для рівня довіри 0,05 порівнюють з критичним значенням  $\chi^2 > \chi^2_{T(0,05;M-1)}$  для цього рівня довіри. У разі, коли отримане значення критерію менше табульованого критичного значення, то потребується розгляд питання корегування бальних значень для певних підпитань, що розглядають.

Завершальним етапом є:

- формування переліку питань для подальшого більш детального розгляду;
- формування переліку відхилених питань для подальшого розгляду;
- представлення результатів на спеціальній діаграмі (пелюстковій чи гістограмі) з нанесенням опорного значення експертної оцінки.

При формуванні гістограми з кінцевими результатами використовують принцип Парето з нанесенням кривої Лоренця [1].

Алгоритм реалізації удосконаленого методу групового експертного оцінювання з урахуванням компетентності експертів наведений на рис. 1. Зазначений алгоритм доволі легко можна реалізувати з використанням розповсюджених пакетів математичних програм (наприклад, Microsoft Excel, США).

Підвищенню достовірності групового експертного оцінювання і значному зменшенню витрат часу на проведення сприяють спеціальні методики експертної оцінки з урахуванням компетентності залучених експертів.

ПЗ дозволяють:

- здійснити відбір найбільш пріоритетних питань в певних галузях з тих, що визначені для розгляду експертною групою;
- відхилити питання, які не мають першочергового чи взагалі ніякого значення для подальшого аналізу.



Рис. 1. Алгоритм реалізації удосконаленого методу групового експертного оцінювання з урахуванням компетентності експертів

## 5. Приклад оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювань удосконаленим методом

Групове експертне оцінювання МЗ вимірювань часу і частоти удосконаленим методом реалізовано із залученням групи з 21 експерта з метрології, компетентність яких була попередньо оцінена. Оцінювання здійснювали для шести проблемних питань (X1–X6), які містять 38 підпитань, з урахуванням встановлених бальних оцінок:

X1 – персонал, задіяний у метрологічних роботах (X1.1–X1.6);

X2 – умови проведення метрологічних робіт (X2.1–X2.5);

X3 – нормативні та методичні документи (X3.1–X3.6);

X4 – еталонна база та допоміжне обладнання (X4.1–X4.8);

X5 – процедури і документи з проведення метрологічних робіт (X5.1–X5.6);

X6 – метрологічна простежуваність (X6.1–X6.7).

Отримані шляхом анкетування дані оброблено за допомогою універсального ПЗ Microsoft Excel (США). Результати оцінювання наведені на рис. 2, 3.

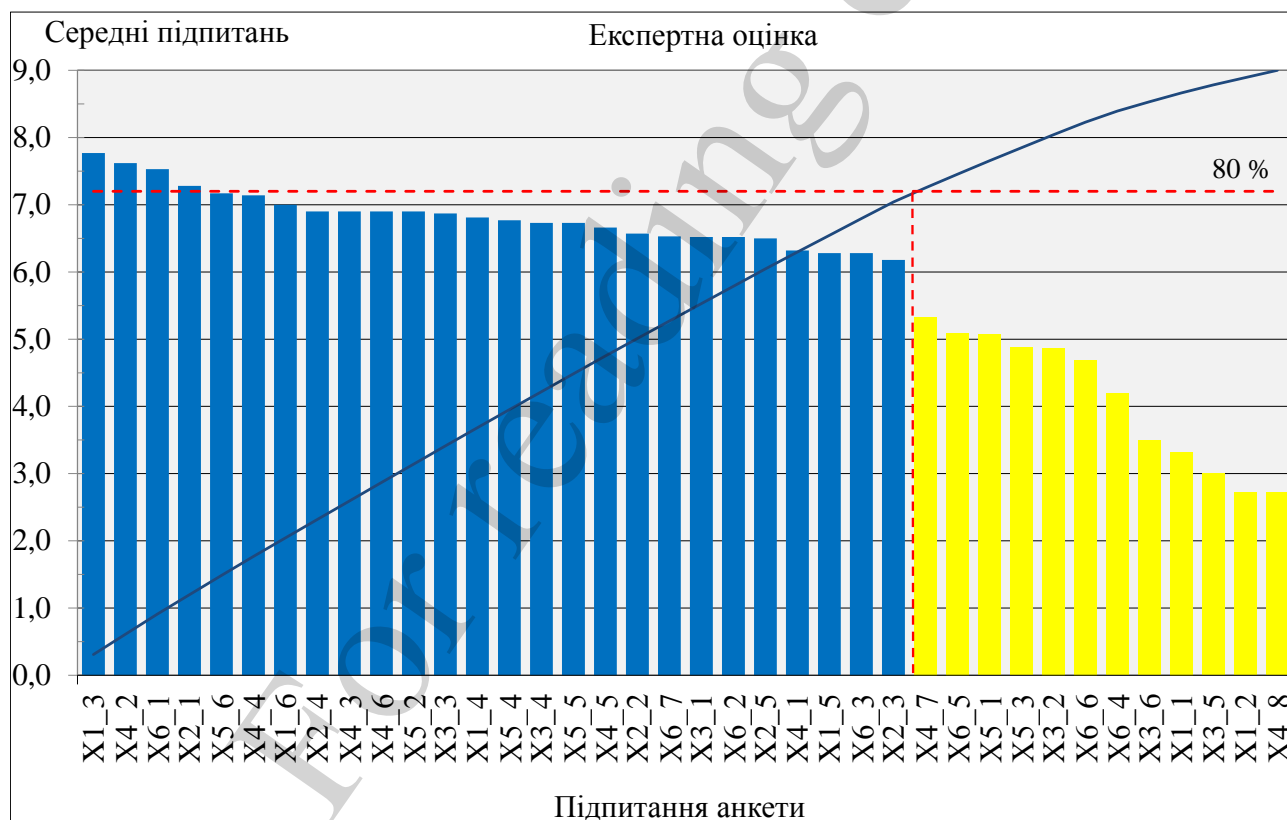


Рис. 2. Результати оцінювання удосконаленим методом за підпитаннями з урахуванням компетентності експертів

На рис. 2 зображена стовпчикова діаграма з ранжуванням підпитань, що розглядають, у порядку зменшення їхньої значимості. На осі  $x$  відображені підпитання, на осі  $y$  – оцінене середнє  $\bar{x}_i$  за підпитанням. До діаграми застосовано принцип Парето, або принцип “20/80”, що у загальному випадку означає, що



20 % зусиль дають 80 % результату (стовпчики жовтого кольору), а останні 80 % зусиль – лише 20 % результату (стовпчики синього кольору).

Аналіз отриманих результатів оцінювання стану МЗ з вимірювання часу і частоти удосконаленим методом показує, що 12 підпитань (32 %) є пріоритетними для подальшого детального аналізу з метою прийняття необхідних рішень (стовпчики діаграми, виділені жовтим кольором), а 26 підпитань (68 %) – не мають першочергового чи взагалі ніякого значення для їхнього подальшого аналізу.

Першочерговими підпитаннями для подальшого більш поглибленого вивчення при вимірюванні часу і частоти є (у порядку важливості):

- кількість фахівців, які проводять чи беруть участь у випробуваннях засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) (X1\_2);
- наявність на підприємстві пересувних лабораторій, укомплектованих робочими еталонами, ЗВТ та обладнанням (X4\_8);
- наявність методик, які потребують розробки чи перегляду (X3\_5);
- загальна кількість фахівців, які займаються метрологічними роботами (X1\_1);
- наявність повірочних схем на робочих місцях (X3\_6);
- використання методик калібрування ЗВТ (X6\_4);
- оцінка придатності ПЗ для автоматизованого збору і обробки отриманих даних при повірці (калібруванні) ЗВТ (X6\_6);
- використання форми протоколів повірки (X5\_3);
- використання методик повірки ЗВТ (X3\_2);
- уповноваження чи акредитація підприємства на виконання метрологічних робіт (X5\_1);
- стан оцінки невизначеності при калібруванні ЗВТ (X6\_5);
- забезпечення робочих еталонів, ЗВТ та обладнання ремонтом і технічним обслуговуванням (X4\_7).

За результатами експертного оцінювання в цілому можна відзначити позитивний стан МЗ вимірювань часу і частоти.

Застосування удосконаленого методу не виявило нових пріоритетних питань.

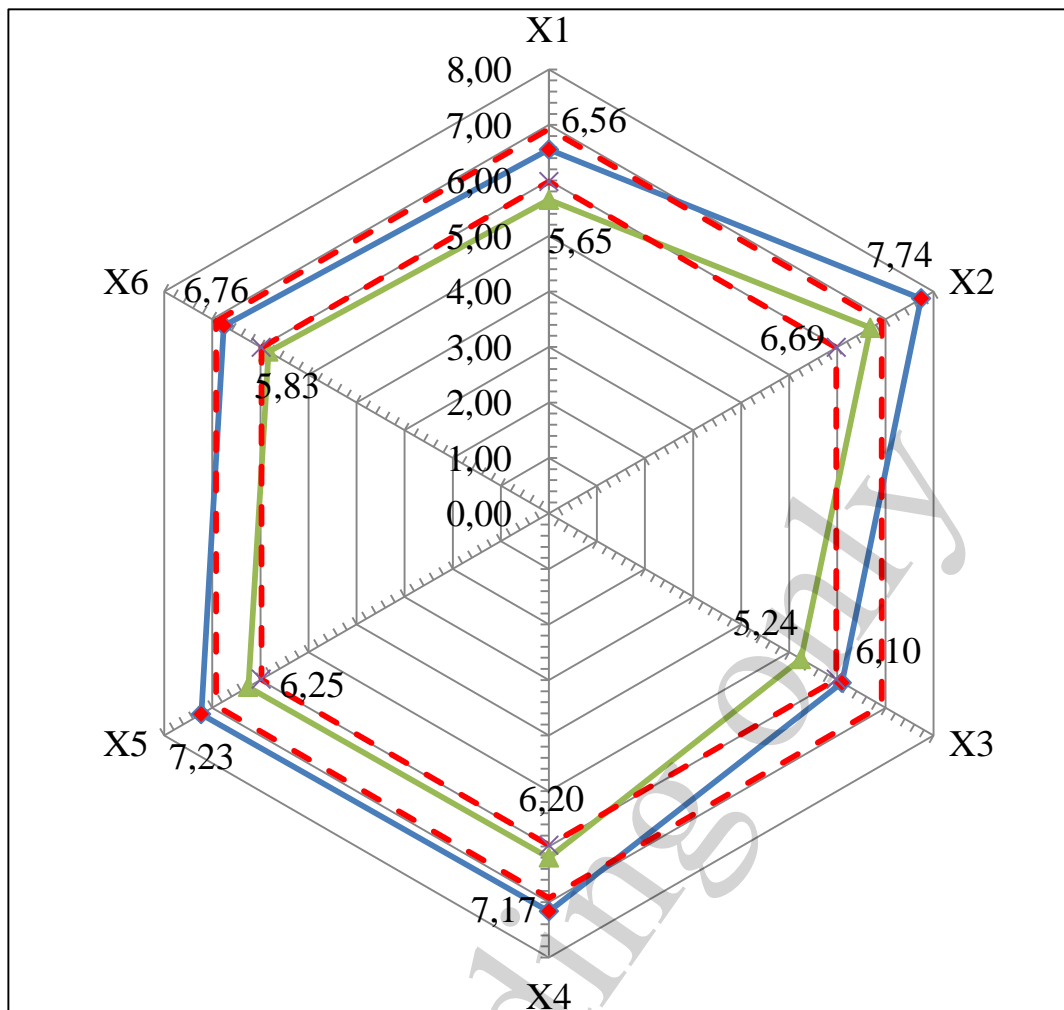


Рис. 3. Діаграма для середніх балів за питаннями без/з урахуванням компетентності експертів

На рис. 3 зображена пелюсткова діаграма для середніх балів експертних оцінок за питаннями без та з урахуванням компетентності експертів. Червоними пунктирними лініями нанесені опорні значення. Лінія зеленого кольору позначає середнє за питаннями з урахуванням компетентності експертів, а лінія синього кольору – середнє за питаннями без урахування компетентності експертів. Отримані результати показують невеликий розкид середніх значень, що свідчить про наявність збалансування. Врахування компетентності експертів привело до зміщення даних, однак в цілому не вплинуло на кінцевий результат оцінювання зважаючи на доволі однорідні оцінки за питаннями, що розглядались.

## 6. Удосконалений програмно-інструментальний комплекс для групового експертного оцінювання

В [17, 18] відзначено, що існують певні особливості застосування програмно-інструментальних засобів, що пов'язано з покладеними у основу методами.

Структурна схема пропонованого спеціального програмно-інструментального комплексу (ПІК) для здійснення групового експертного оцінювання наведена на рис. 4, де:

1 – модуль задавання множини критеріїв компетентності для технічного експерта та їхніх числових (бальних) значень;

2 – модуль введення об'єктивних даних за встановленими критеріями для множини експертів  $M$ , компетентність яких порівнюють;

3 – модуль розрахунку:

– середніх балів;

– середніх відносних і середніх нормованих для даних кожного експерта;

– загального середнього балу;

– загального відносного середнього балу;

– середнього нормованого балу для всіх технічних експертів  $M$  за всіма критеріями оцінювання компетентності експертів (ОКЕ);

4 – модуль розрахунку коефіцієнта узгодженості Кендалла з урахуванням зв'язаних рангів і отримання висновку щодо встановленого ступеня узгодженості даних;

5 – модуль перевірки середніх нормованих для кожного експерта на відповідність критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона з урахуванням зв'язаних рангів при рівні довіри, що дорівнює 0,05;

6 – модуль множини критичних значень  $\chi^2$  для рівня довіри, що дорівнює 0,05;

7 – модуль ранжування отриманих нормованих середніх для експертів (значень компетентності) за зменшенням з відкиданням нормованих середніх для експертів, які не задовольняють принципу Парето, та відображення результатів на спеціальній діаграмі;

8 – модуль формування групи експертів з урахуванням отриманих результатів щодо узгодженості даних для проведення експертного дослідження певних об'єктів у обраній сфері діяльності;

9 – модуль задає множину проблемних питань  $N$ , які необхідно проаналізувати, та числові (бальні) значення питань;

10 – модуль призначений для введення отриманих анкетних даних від експертів за встановленим переліком проблемних питань  $N$ , які необхідно проаналізувати;

11 – модуль розрахунків середніх балів для кожного з визначених питань без/з урахуванням КК кожного з  $M$  експертів, що брали участь у оцінюванні, опорного значення експертної оцінки за всіма проблемними питаннями та ступеня відхилення оцінених середніх балів від опорного значення для кожного з визначених питань;

12 – модуль розрахунку коефіцієнта узгодженості Кендалла з урахуванням зв'язаних рангів і отримання висновку щодо встановленого ступеня узгодженості даних;

13 – модуль перевірки середніх балів для всіх підпитань за оцінками всіх експертів на відповідність критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона з урахуванням зв'язаних рангів при рівні довіри, що дорівнює 0,05;

14 – модуль ранжування отриманих бальних значень за підпитаннями у порядку зменшення  $D_i$ , застосування принципу Парето та відображення результатів на спеціальній діаграмі;

15 – модуль для здійснення кінцевого формування та представлення на спеціальній діаграмі переліку розглянутих підпитань для подальшого більш детального розгляду.

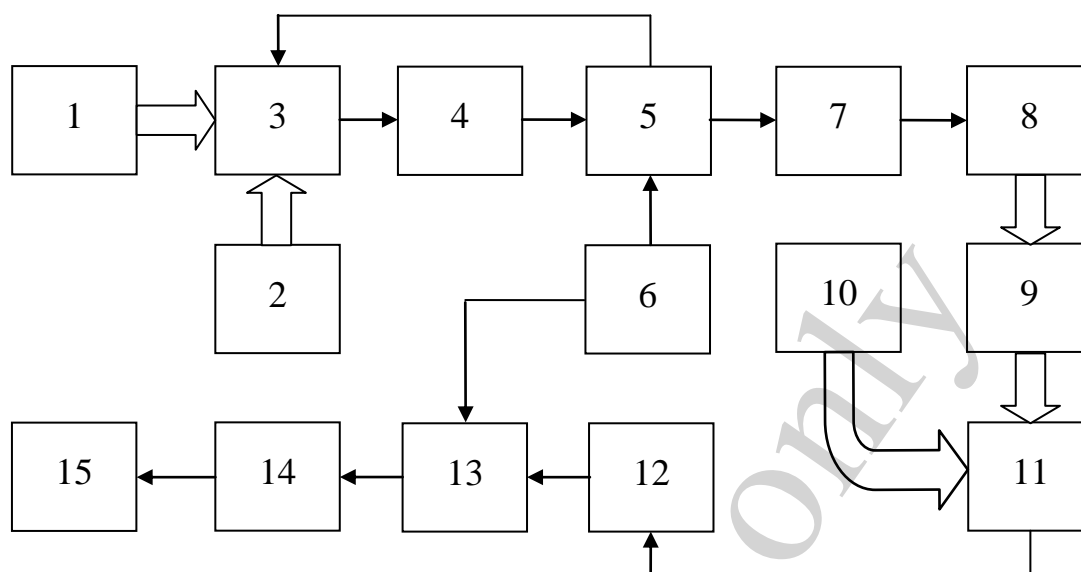


Рис. 4. Пропонований ПІК для групового експертного оцінювання

Модулем 1 задають множину та числові (бальні) значення критеріїв ОКЕ для дослідження певного об'єкта у обраній сфері діяльності. У модулі 2 здійснюють введення об'єктивних даних за встановленими критеріями ОКЕ для множини експертів, компетентність яких оцінюють (порівнюють).

За допомогою модуля 3 здійснюють розрахунки:

- середніх балів;
- середніх відносних і середніх нормованих для даних кожного технічного експерта;
- загального середнього балу;
- загального відносного середнього балу;
- середнього нормованого балу для всіх технічних експертів  $M$  за всіма критеріями ОКЕ.

Модуль 4 призначений для розрахунку коефіцієнта узгодженості Кендалла з урахуванням зв'язаних рангів і отримання висновку щодо встановленого ступеня узгодженості даних. Модуль 5 застосовують для перевірки середніх нормованих для кожного експерта на відповідність критерію  $\chi^2$  Пірсона з урахуванням зв'язаних рангів при порівнянні із критичними значеннями  $\chi^2$  для рівня довіри 0,05. Модуль 6 містить множини критичних значень  $\chi^2$  для рівня довіри, що дорівнює 0,05.

За допомогою модуля 7 здійснюють:

- ранжування у порядку зменшення отриманих нормованих середніх для експертів (значень компетентності) з відкиданням нормованих середніх для експертів, які не задовольняють принципу Парето;
- відображення результатів на спеціальній діаграмі.

За допомогою модуля 8 здійснюють кінцеве формування групи експертів з урахуванням отриманих результатів щодо узгодженості даних для проведення експертного дослідження певних об'єктів у обраній сфері діяльності.

Модулем 9 задають множину та числові (бальні) значення проблемних питань  $N$ , які необхідно проаналізувати. У модулі 10 здійснюють введення отриманих анкетних даних від експертів за встановленим переліком проблемних питань  $N$ , які необхідно проаналізувати.

Модуль 11 призначений для розрахунків:

- середніх балів для кожного з визначених питань без/з урахуванням КК кожного з  $M$  експертів, що брали участь у оцінюванні;
- опорного значення експертної оцінки за всіма проблемними питаннями як простого середнього значення;
- ступеня відхилення оцінених середніх балів від опорного значення для кожного з визначених питань.

Модуль 12 призначений для розрахунку коефіцієнта узгодженості Кендалла з урахуванням зв'язаних рангів і отримання висновку щодо встановленого ступеня узгодженості даних. Модуль 13 застосовують для перевірки середніх балів для всіх підпитань за оцінками всіх експертів на відповідність критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона з урахуванням зв'язаних рангів при рівні довіри, що дорівнює 0,05.

За допомогою модуля 14 здійснюють ранжування отриманих бальних значень за підпитаннями у порядку зменшення  $D_i$ , застосування принципу Парето та відображення результатів на спеціальній діаграмі. За допомогою модуля 15 здійснюють кінцеве формування та представлення на спеціальній діаграмі переліку розглянутих підпитань для подальшого більш детального розгляду.

Розглянутий ППК може бути реалізований із застосуванням будь якого сучасного персонального комп'ютера, а розрахунки за алгоритмом, наведеним на рис. 1, можуть бути здійсненні із застосуванням, зокрема програми Microsoft Excel (США).

Застосування розглянутих удосконаленого методу і ППК для групового експертного оцінювання розроблені таким чином, щоб усунути обмеження щодо кількості експертів і кількості питань (факторів), які необхідно проаналізувати. Підхід базується на інтеграції у ППК щодо групового експертного оцінювання елемента оцінювання компетентності експертів, задіяних в ньому. Такий спосіб дозволив отримати гнучкий механізм для коригування, за потреби, застосовуваних критеріїв оцінювання, що підвищує точність і продуктивність такої оцінки.

Отримані за допомогою розглянутих удосконаленого методу оцінювання і ППК характеристики для певного проблемного питання дозволяють більш обґрунтовано здійснювати відбір найбільш пріоритетних для подальшого розгляду проблемних питань у певній сфері діяльності. Це підвищує достовірність оцінювання і дозволяє отримувати більш достовірні експертні оцінки з проблемних питань, що розглядають.

## 7. Обговорення результатів стану метрологічного забезпечення вимірювань

Результати порівняння середніх значень за питаннями наведені у табл. 1. У табл. 1: відносна оцінка – це відносне значення для конкретного виду вимірювань від максимального балу (9 балів), а опорне значення – середнє арифметичне за всіма питаннями.

Таблиця 1

Порівняння отриманих результатів за питаннями

Вид вимірювання	Середнє значення за всіма питаннями	Відносна оцінка	Опорне значення
Електрична потужність	4,70	0,52	5,23
Ємність	5,04	0,56	
Індуктивність	4,87	0,54	
Кут зсуву фази	5,08	0,56	
Час і частота	5,98	0,66	
Змінна напруга	5,37	0,60	
Висока стала напруга	5,56	0,62	
Висока змінна напруга, $U$	5,34	0,59	
Висока змінна напруга, $k$	5,11	0,57	
Великий змінний струм	5,22	0,58	

Аналіз отриманих результатів (табл. 1) показує середній рівень стану МЗ за всіма видами вимірювань (від 0,52 до 0,66).

Узагальнено оцінити стан МЗ вимірювань умовно можна за рівнями (градаціями), наведеними у табл. 2.

Таблиця 2

Рівні (градації) стану метрологічного забезпечення та їхня оцінка

Рівні стану МЗ	Особливості стану МЗ	Середнє значення за всіма питаннями
“Високий”	Високі бали експертів за більшістю питань щодо МЗ	більше 0,7 від максимального балу (9 балів)
“Середній”	Високі та низькі бали експертів розділилися щодо питань МЗ	від 0,3 до 0,7 від максимального балу
“Низький”	Низькі бали експертів за більшістю питань щодо МЗ	менше 0,3 від максимального балу

Також було оцінене співвідношення середніх для питань (рис. 5) для всіх видів вимірювання. Червоною пунктирною лінією нанесено опорне значення. Лінія синього кольору позначає середнє значення за всіма питаннями. Отримані результати показують невеликий розкид середніх значень від 4,70 до 5,98, що свідчить про наявність збалансування.

Значення коефіцієнта узгодженості Кендалла  $W$  і за критерієм згоди  $\chi^2$  Пірсона за всіма видами вимірювань наведені у табл. 3.

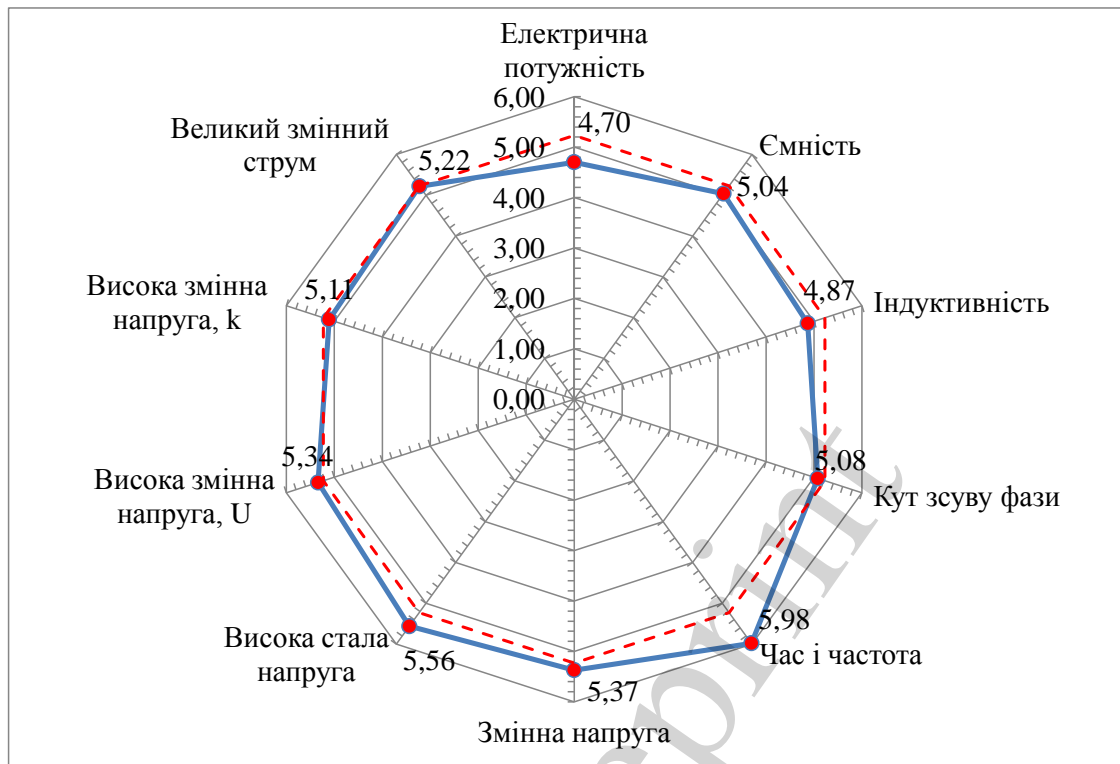


Рис. 5. Середнє для питань для всіх видів вимірювання

Таблиця 3

Значення коефіцієнта узгодженості Кендалла і за критерієм згоди  $\chi^2$  Пірсона

Вид вимірювань	Коефіцієнт узгодженості Кендалла	Критерій згоди $\chi^2$ Пірсона	
		отримане значення	табличне значення (рівень довіри 0,05)
Електрична потужність	0,44	389,60	52,19
Ємність	0,46	236,90	
Індуктивність	0,44	227,42	
Кут зсуву фази	0,40	143,80	
Час і частота	0,42	324,22	
Змінна напруга	0,42	184,35	
Висока стала напруга	0,36	187,09	
Висока змінна напруга, $U$	0,41	227,28	
Висока змінна напруга, $k$	0,34	201,66	
Великий змінний струм	0,36	197,69	

Аналіз отриманих результатів (табл. 3) свідчить про те що:

– значення коефіцієнта узгодженості Кендалла знаходяться у межах від 0,34 до 0,46 (слабка узгодженість за шкалою Марголіна);

– всі отримані значення критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона відповідають встановленим вимогам для рівня довіри 0,05 ( $\chi^2 > \chi^2_{T(0,05;M-1)} = 52,19$ ).

## 8. Висновки

1. Розглянуті найбільш ефективні методи групового експертного оцінювання, придатні для оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювань. Запропоновано удосконалений метод групового експертного оцінювання, який враховує компетентність задіяних експертів на основі раніше встановлених критеріїв та апробований на багатьох об'єктах у сфері метрології, зокрема для встановлення стану метрологічного забезпечення вимірювань. Встановлено, що важливим елементом практичного застосування методів групового експертного оцінювання є обов'язкова перевірка узгодженості отриманих експертних оцінок. З цією метою найбільш придатним засобом є перевірка узгодженості експертних даних шляхом застосування коефіцієнта узгодженості Кендалла і критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона.

2. Проведено групове експертне оцінювання метрологічного забезпечення за різними видами вимірювань із залученням до нього експертів з метрології. Результати опрацьовано за допомогою універсального ПЗ Microsoft Excel (США). Аналіз отриманих результатів показав пріоритетність 32 % підпитань. Таким чином у порівнянні з раніше розробленим методом, який був удосконалений, не виявлено нових пріоритетних питань. Порівняльний аналіз результатів показав середній рівень стану МЗ (від 0,52 до 0,66) за всіма видами вимірювань. Оцінено співвідношення середніх для питань за всіма видами вимірювання. Результати показали невеликий розкид середніх значень від 4,70 до 5,98, що свідчить про гарне збалансування.

3. Розроблена структурна схема спеціального програмно-інструментального комплексу базується на інтеграції елемента оцінювання компетентності задіяних експертів, не має обмеження щодо кількості експертів і кількості питань (факторів), які необхідно проаналізувати, а також дозволяє, за потреби, здійснювати коригування застосовуваних критеріїв оцінювання. Це сприяє не лише реалізації удосконаленого методу групового експертного оцінювання та усуненню помилок при розрахунках отриманих результатів, а й підвищенню точності і продуктивності такої оцінки.

## Література

1. Velychko, O. M. Methodologies of expert's competence evaluation and group expert evaluation [Text] / O. M. Velychko, T. B. Gordiyenko, L. V. Kolomiets // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 2. – P. 262–271.
2. Velychko, O. A comparative analysis of the assessment results of the competence of technical experts by different methods [Text] / O. Velychko, T. Gordiyenko, L. Kolomiets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 3 (88). – P. 4–10. doi: 10.15587/1729-4061.2017.106825
3. Литвак, Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений [Текст] / Б. Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 271 с.



4. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений [Текст]: учебник / О. И. Ларичев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
5. Павлов, А. Н. Методы обработки экспертной информации [Текст]: уч.-метод. пос. / А. Н. Павлов, Б. В. Соколов. – СПб.: ГУАП, 2005. – 42 с.
6. Чернышева, Т. Ю. Иерархическая модель оценки и отбора экспертов [Текст] / Т. Ю. Чернышева // Доклады ТУСУР. Управления, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 1 (19). – С. 168–173.
7. Орлов, А. И. Экспертные оценки [Текст]: уч. пос. / А. И. Орлов. – М., 2002. – 31 с.
8. Колпакова, Т. А. Определение компетентности экспертов при принятии групповых решений [Текст] / Т. А. Колпакова // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2011. – № 1. – С. 40–43.
9. Xia, M. Consistency and consensus improving methods for pairwise comparison matrices based on Abelian linearly ordered group [Text] / M. Xia, J. Chen // Fuzzy Sets and Systems. – 2015. – Vol. 266. – P. 1–32. doi: 10.1016/j.fss.2014.07.019
10. Koczkodaj, W. W. Inconsistency indicator maps on groups for pairwise comparisons [Text] / W. W. Koczkodaj, J. Szybowski, E. Wajch // International Journal of Approximate Reasoning. – 2016. – Vol. 69. – P. 81–90. doi: 10.1016/j.ijar.2015.11.007
11. Маловик, К. Н. Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов [Текст]: монография / К. Н. Маловик. – Севастополь: СКУЭИП, 2013. – 332 с.
12. Saaty, T. L. The Hierarchon: A Dictionary of Hierarchies [Text] / T. L. Saaty. – Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 1992. – 496 p.
13. Drake, P. R. Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education [Text] / P. R. Drake // International Journal of Engineering Education. – 1998. – Vol. 14, Issue 3. – P. 191–196.
14. Саати, Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети [Текст] / Т. Л. Саати. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
15. Вербицкий, А. А. Методические рекомендации по проведению деловых игр [Текст] / А. А. Вербицкий, Н. В. Борисова; Всесоюз. науч.-метод. центр проф.-техн. обучения молодежи. – М.: ВНИЦПО, 1990. – 46 с.
16. Velychko, O. M. The group expert evaluation of the metrological assurance of electric power measurements [Text] / O. M. Velychko, S. R. Karpenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 772. – P. 012043. doi: 10.1088/1742-6596/772/1/012043
17. Velychko, O. M. Special software for experts evaluation [Text] / O. M. Velychko, S. R. Karpenko, T. B. Gordiyenko, L. V. Kolomiets // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 7. – P. 401–407.
18. Velychko, O. M. Hardware-software complexes for evaluation of competence level of experts [Text] / O. M. Velychko, T. B. Gordiyenko, L. V. Kolomiets // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 7. – P. 396–401.